

UNE APPROCHE AGENT POUR MODELISER LA CHAÎNE LOGISTIQUE DANS UN CONTEXTE DE PME MECATRONIQUE

JIHENE TOUNSI¹, JULIEN BOISSIERE², GEORGES HABCHI¹

¹ SYMME – Université de Savoie
Domaine universitaire, BP 80439 Annecy le vieux Cedex
{jihene.tounsi ; georges.habchi}@univ-savoie.fr

² LISTIC – Université de Savoie
Domaine universitaire, BP 80439 Annecy le vieux Cedex
julien.boissiere@univ-savoie.fr

Résumé - face aux exigences du marché et à ses fréquentes mutations, l'intégration des différents acteurs dans la chaîne logistique est devenue un atout concurrentiel quel que soit le domaine de production, qu'il soit de biens ou de services. Le domaine de la mécatronique n'est pas épargné par ces exigences. Les travaux de recherche présentés dans cet article s'inscrivent dans ce domaine puisqu'ils s'orientent vers la recherche d'une solution pour un tissu industriel composé particulièrement de PME situées dans les pays de Savoie. Dans cet article, nous mettons en œuvre des recherches issues de deux domaines différents. Le premier se focalise sur l'étude des maillons et de l'organisation des PME dans la chaîne logistique. L'analyse qui en découle nous permet d'identifier et de modéliser les concepts relatifs à notre domaine de recherche. Le second concerne le processus de développement logiciel basé sur l'approche multiagent qui offre une modélisation structurée et réutilisable des concepts de la chaîne logistique.

Abstract - In order to meet global dynamic market and its perturbations, the supply chain and its integration across the different organizations has become a competitive business advantage along the production processes. In particular, the mechatronic industry is very sensitive to these requirements. Our research deals with a supply chain modelling solution for an industrial environment composed of Small and Medium mechatronic Enterprises located in Savoy. In this paper, we combine two research scopes. The first one focuses on the study of elements and SME organization in the supply chain. The analysis allows us to identify and model the research domain concepts. The second one outlines the development process based on an agent modelling approach which offers an easy and reusable modelling of supply chain concepts.

Mots clés – PME, chaîne logistique, multiagent, ArchMDE, modélisation

Keywords – SME, supply chain, multiagent, ArchMDE, modelling

1 INTRODUCTION

La communication, la coordination et la collaboration entre les différents acteurs d'une chaîne logistique deviennent un enjeu économique essentiel pour les entreprises mais aussi un sérieux avantage concurrentiel. La chaîne logistique est un macro-système complexe dû à plusieurs facteurs : la variété des structures organisationnelles intervenantes et des relations existantes entre elles ; la décentralisation de décisions stratégiques ; la délocalisation des différentes tâches liées à la production.

Par conséquent, les petites et moyennes entreprises (PME) évoluent dans un environnement économique instable et complexe. Afin de survivre et de pouvoir supporter les exigences des chaînes logistiques dans lesquelles elles sont impliquées (facteurs internes : acteurs influents de la chaîne, délai, satisfaction consommateur final, etc.) et du marché (facteurs externes : concurrence, aléas, imprévisions, etc.), les PME doivent collaborer entre elles afin de réaliser leurs objectifs sans pour autant perdre leur autonomie et leur identité [Villarreal Lizarraga, 2005], [Julien, 1997].

Le tissu industriel des pays de Savoie, notre champ d'application, est constitué de plusieurs PME évoluant dans le domaine de la mécatronique. Ces PME collaborent afin de réaliser un objectif commun dans une chaîne logistique globale complexe. Dans les pays de Savoie, ce tissu industriel constitue un enjeu fort et un avantage concurrentiel pour la pérennité et la prospérité économique de la région.

Le manque de travaux de recherche pour ce type d'entreprises et dans le domaine de la mécatronique ainsi que le besoin exprimé par celles-ci ont conforté notre choix d'étudier leurs structures ainsi que de leurs comportements dynamiques dans la chaîne logistique en utilisant la modélisation et la simulation.

Dans la suite de cet article, nous présentons l'analyse du terrain ainsi que l'approche de modélisation dans ce contexte. L'approche de modélisation adoptée est fondée sur le processus de développement ArchMDE (Architecture Model Driven Engineering) qui permet d'identifier et de modéliser les concepts du domaine indépendamment de la technologie informatique utilisée (les systèmes multi-agents dans notre

cas). Cette approche facilite la modélisation des concepts de la chaîne logistique et la réutilisation des modèles générés.

Ce travail est structuré en quatre parties principales qui définissent notre approche. La première partie présente une étude de l'existant sur les théories abordées dans la littérature et plus particulièrement la modélisation basée sur les agents. Dans la deuxième partie, nous introduisons l'approche ArchMDE ainsi que son apport dans notre travail de recherche. Dans les deux dernières sections, nous présenterons la génération du métamodèle conceptuel de la chaîne logistique constituée essentiellement de PME mécatroniques, ainsi que son agentification selon le processus de développement adopté. La conclusion met l'accent sur les perspectives de ce travail et les résultats qui pourraient être obtenus dans un avenir proche.

2 CONTEXTE

2.1 Domaine de recherche

La « *Mécatronique* » est un nouveau concept qui a vu le jour dans plusieurs domaines de l'industrie ayant besoin d'intégrer des caractéristiques mécaniques, électroniques et informatiques simultanément.

D'après une enquête que nous avons effectuée et qui a sollicitée la participation des entreprises mécatroniques de Savoie et Haute-Savoie, mais aussi d'après les dossiers et les enquêtes réalisées par l'organisme « Thésame », il ressort que ce tissu industriel est composé essentiellement de PME sous-traitantes spécialisées dans la Mécatronique [Tounsi et al., 2008].

Plusieurs caractéristiques des chaînes logistiques en mécatronique dans la vallée de l'Arve en Haute-Savoie ont été mises en avant avec pour les plus importantes :

- La complexité : la chaîne est composée de plusieurs acteurs autonomes et indépendants. Les relations entre les acteurs diffèrent selon leurs activités et leur situation géographique. En effet, on trouve des notions de groupement d'entreprises qui collaborent afin de réaliser un processus donné. Chaque acteur possède des savoir-faire dans une activité précise.
- La décentralisation / délocalisation : c'est une décision stratégique due au phénomène de mondialisation et à la volonté de réduire les coûts. Les PME de la vallée de l'Arve sont en majorité des sous-traitants qui ne sont pas forcément localisés dans la même région ou même dans le même pays que les autres acteurs de la chaîne globale.
- Le manque de visibilité de toute la chaîne : les PME collaborent en enchaînant leurs activités afin de réaliser un objectif ou un processus. Or, à cause des caractéristiques énoncées précédemment (délocalisation et décentralisation), la chaîne logistique est subdivisée dans la plupart des cas sur plusieurs sites géographiques. Ces sites ont une visibilité locale mais se coordonnent avec les autres sites à travers des flux de données.

D'après la littérature et l'étude bibliographique que nous avons effectuée, les travaux traitant le champ d'application en mécatronique sont quasi-inexistants. Le domaine de production et le type d'entreprise que nous abordons sont spécifiques au département de la Haute-Savoie très riche en PME et mondialement reconnu. Modéliser et simuler le comportement dynamique de la chaîne logistique de ces entreprises mécatroniques, en intégrant les pratiques de gestion et de management de la CL est aujourd'hui un challenge et un besoin croissant.

2.2 La modélisation de la chaîne logistique

2.2.1 L'approche M&S

La modélisation et la simulation (M&S) de la chaîne logistique est une approche permettant d'aborder des systèmes complexes et combinant deux techniques puissantes que sont la modélisation puis la simulation. Le choix de cette approche se justifie, d'une part, par l'absence actuellement de modèles analytiques capables de modéliser la chaîne avec toute sa complexité, et d'autre part, par la puissance de la simulation à gérer le comportement stochastique des chaînes logistiques avant leur implantation [Lee et al., 2002].

La modélisation, quant à elle, est un mécanisme reflétant le système réel qui, quand il est couplé à la simulation, fournit un outil d'aide à la décision qui tient compte de la dynamique du système et du comportement des différents acteurs autonomes. La littérature est unanime sur le rôle positif apporté par la simulation dans l'étude dynamique des systèmes complexes, dans l'analyse et dans l'évaluation des performances. Citons à titre d'exemple certains auteurs [Lee et al., 2002], [Longo et Mirabelli, 2007] et [Ingalls, 1998], qui soulignent les caractéristiques et les avantages d'un outil d'aide à la décision fondé sur la modélisation et la simulation à événements discrets. L'approche M&S est adoptée dans plusieurs travaux afin de réduire la complexité de la gestion de la chaîne logistique et d'évaluer sa performance [Bagchi et al., 1998], [Telle, 2003], [Labarthe, 2007].

Afin de modéliser et simuler la chaîne logistique, il y a essentiellement deux types de modélisation : la modélisation utilisant les équations et la modélisation orientée agent. Parunack et al. [Parunack et al., 1998] ont mis l'accent sur les avantages et les inconvénients de ces deux méthodes. Ils ont démontré que l'approche agent est la mieux adaptée pour modéliser le comportement dynamique des systèmes complexes et pour étudier l'impact des interactions entre les différentes entités. Dans ce travail de recherche, nous avons choisi d'adopter les systèmes multiagent pour étudier le comportement dynamique de la chaîne logistique dans un contexte de production PME mécatroniques. Les motivations qui nous ont poussé à faire ce choix sont soulignées dans la sous section suivante.

2.2.2 Une approche agent pour la modélisation de la chaîne logistique

Le système multiagent est un nouveau paradigme de M&S des systèmes complexes. Il est le résultat de la combinaison de deux orientations dans la recherche : l'intelligence artificielle et la modélisation orientée objet. Demazeau, [Demazeau, 1996], définit un système multiagent comme étant un ensemble de 4 vues principales appelé « l'approche voyelle » :

- La vue agent : décrit la structure interne d'un agent. Un agent est un système informatique qui agit d'une manière autonome dans un certain environnement afin de réaliser un objectif de conception [Wooldridge, 2002]. La communauté scientifique distingue 3 types d'agent selon leur intelligence et leur processus décisionnel : (i) l'agent réactif qui réagit au stimuli de l'environnement par des actions prédéfinies [Brooks, 1991] ; (ii) l'agent cognitif a une faculté de raisonnement et de choix d'action selon la situation afin d'atteindre d'une manière optimale son objectif. Ce type d'agent possède aussi une faculté d'apprentissage et d'adaptation aux changements. Les agents BDI représentent un exemple de ce type d'agent [Wooldridge, 1999] ; [Bratman et al., 1998] ; (iii) l'agent

hybride qui fusionne des caractéristiques de l'agent réactif et de l'agent cognitif [Fischer et al., 1995].

- La vue environnement (E) : décrit l'environnement dans lequel évolue l'agent. La FIPA (Federation of Intelligent Physical Agent) le décrit comme étant « ... tout ce qui est extérieur à l'agent ».
- La vue interaction (I) : décrit la relation dynamique entre les agents. Cette dynamique se fait à travers un protocole ou un langage d'interaction. C'est un échange de messages structurés entre les agents selon l'état interne de ce dernier et le cadre d'interaction (coordination, collaboration, coopération ou négociation).
- La vue organisation (O) : décrit la structure de tout le système en terme de groupes d'agents, hiérarchie, relations et de structure de l'environnement.

De ce fait, l'approche AEIO décompose le système multiagent en plusieurs modules. Cette modularité facilite leur réutilisation selon les besoins de modélisation. D'un autre côté, les systèmes multiagent sont sollicités pour les applications décentralisées, complexes, dynamiques et reconfigurables [Parunack, 1998]. Donc, le paradigme agent offre un cadre naturellement orienté vers la modélisation de la chaîne logistique.

En comparant les caractéristiques de chacun, nous trouvons une forte similarité entre les concepts et les pratiques organisationnelles. En effet, les systèmes multiagent ainsi que les chaînes logistiques sont composés d'acteurs et d'entités qui interagissent au sein d'une organisation afin de réaliser un objectif commun. Cette analogie privilégie l'utilisation de l'approche multiagent comme moyen de modéliser la chaîne logistique.

3 PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT ARCHMDE

L'objectif de cet article est de proposer une méthode de modélisation de la chaîne logistique dans un contexte de PME mécanique. Cette méthode nous permettra de construire un modèle agentifié du domaine. Afin d'atteindre ce but, nous avons adopté une approche de modélisation ArchMDE (Architecture Model Driven Engineering) présentée dans [Azaiez, 2007]. Cette approche est basée sur l'ingénierie dirigée par les modèles (IDM) [Kent, 2002]. En effet, un des principes d'IDM est la séparation des différents aspects du problème. Chaque problème doit être traité séparément afin de se concentrer plus efficacement sur chacun d'entre eux. Cette approche permet ainsi de contrôler le processus de développement d'un logiciel dans ses différentes phases (de l'analyse jusqu'à l'implémentation) et ceci en produisant et en combinant par la suite des métamodèles répondant à la problématique.

L'approche ArchMDE a pour but de définir un cadre de développement qui soit spécifique à notre domaine de recherche. Elle est basée essentiellement sur la définition de deux métamodèles : (i) le métamodèle du domaine décrivant les concepts et les propriétés de la chaîne logistique constituée essentiellement de PME mécaniques, (ii) un métamodèle orienté agent spécifiant les concepts orientés agent ainsi que leurs principales relations et propriétés architecturales. Un tissage de ces deux métamodèles permet alors d'obtenir un métamodèle du domaine agentifié. Sur la base de ce métamodèle agentifié, plusieurs modèles fonctionnels sont définis. Dans une deuxième phase, nous réalisons un mapping de ces modèles avec les concepts définissant le métamodèle de

la plateforme d'implémentation. Le résultat de ces deux phases est une plateforme de simulation dédiée (Figure 1).

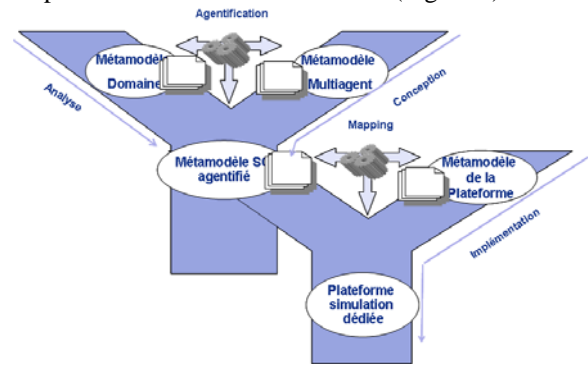


Figure 1. Processus de développement ArchMDE

Dans cet article, nous présentons essentiellement la première phase du processus ArchMDE. Ainsi dans ce qui suit, nous décrivons la génération du métamodèle du domaine ainsi que son agentification.

4 METAMODELE DU DOMAINE

En se basant sur le processus de développement ArchMDE, nous définissons un métamodèle conceptuel qui identifie les principales propriétés et concepts de la chaîne logistique dans un contexte de PME mécaniques. Pour atteindre l'objectif, nous avons adopté une méthodologie de construction de modèle conceptuel qui combine plusieurs visions existantes dans la littérature [Tounsi et al., 2008].

La section suivante présente la méthodologie suivie pour générer le modèle conceptuel ainsi que le métamodèle du domaine construit sur la base de ce dernier.

4.1 Méthodologie de modélisation conceptuelle

Afin de générer le modèle conceptuel, nous avons adopté une démarche basée sur les trois visions évoquées dans la figure 2. A chaque étape, nous appliquons une vision pour construire ou raffiner le modèle conceptuel final. Chaque artefact d'une vision (modèle intermédiaire) sera la base sur laquelle la vision suivante va détailler ou compléter la construction du modèle. Ainsi, après l'application de ces trois visions, nous obtenons une architecture statique du modèle conceptuel.

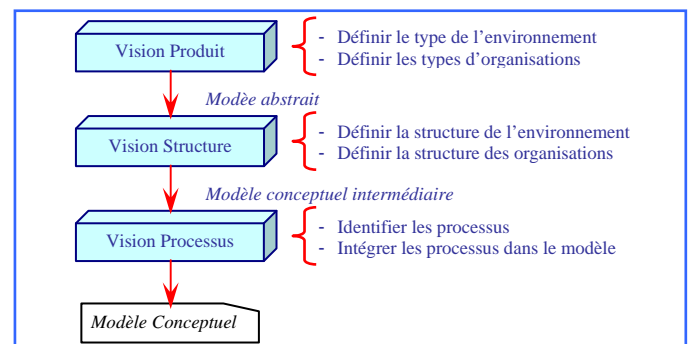


Figure 2. Méthodologie de modélisation conceptuelle

4.1.1 Vision Produit

La vision Produit prend en compte la chaîne logistique dédiée à un produit en particulier (ou une gamme de produit) en partant de la matière première jusqu'au client final [Thierry, 2003]. On se focalise ainsi sur la circulation du produit pour définir l'environnement de production et les organisations impliquées dans le management. Dans notre méthodologie, la vision Produit nous permettra de construire un premier modèle abstrait de la chaîne logistique dans un environnement de

production PME mécatroniques. Ce modèle abstrait représentant la chaîne logistique globale est composé de :

- L'environnement, qui est essentiellement caractérisé par la circulation et les phases de transformation du produit ainsi que les aléas ou les perturbations qu'il peut subir.
- Les organisations, qui prennent en charge une ou plusieurs phases de transformation du produit. Sachant que nous sommes dans un contexte de chaîne logistique composée essentiellement de PME, les organisations impliquées seront des groupements d'entreprises collaborant afin de réaliser une ou plusieurs activités.

4.1.2 Vision Structure

Cette vision a été proposée par Cooper et al. [Cooper et al., 1997]. Elle considère la structure de la chaîne logistique d'un point de vue : acteurs (décisionnels ou de synchronisation), structure du réseau (différents rôles dans la chaîne et nombre d'acteurs dans chaque rôle) et les caractéristiques des relations organisationnelles entre ces derniers. Donc, sur la base du modèle abstrait fourni par la vision précédente, la vision « Structure » permet d'aller dans le détail des organisations impliquées dans la chaîne et l'environnement physique :

- *La vision « structure » de l'environnement* : C'est la partie contenant le flux physique. Elle nécessite de modéliser le produit en circulation ainsi que les ressources nécessaires pour réaliser sa transformation.
- *La vision « structure » des organisations* : c'est l'identification des maillons constituant le groupement. Les maillons sont hiérarchisés dans l'organisation selon leur implication dans le niveau décisionnel et les tâches qui leur seront attribuées. Les relations de gestion du flux de données seront différentes selon le niveau décisionnel.

A la fin de cette étape, on obtient un modèle intermédiaire détaillant la structure du modèle abstrait.

4.1.3 Vision Processus

Cette vision est basée sur la classification des processus selon le niveau décisionnel [Chopra et Meindl, 2001] ; [Stevens, 1989] : stratégique, tactique et opérationnel.

En appliquant la vision « Processus », on identifie les différentes catégories de processus qui peuvent apparaître dans notre modèle intermédiaire. Ces catégories sont identifiées selon le niveau décisionnel, mais aussi suivant le type de relation existante entre les maillons. Ces relations peuvent être classées en deux grandes catégories :

- Le pilotage et le contrôle : c'est le fait de s'assurer de la bonne mise en œuvre des décisions dans l'optique d'une amélioration continue de la performance des processus en terme de valeur ajoutée.
- La synchronisation : c'est échanger des informations et des flux physiques selon un schéma déjà conçu et prédéfini des processus par les couches décisionnelles.

A la fin de cette étape, nous obtenons un modèle conceptuel raffiné de notre chaîne logistique.

4.2 Génération du modèle du domaine

Cette partie présente le modèle conceptuel selon les différentes phases de notre méthodologie. Nous identifions ainsi les concepts de notre modèle d'un point de vue produit, structure et processus. De même, au fur et à mesure nous construisons et raffinons le métamodèle du domaine en utilisant le langage de modélisation UML (a semi formal unified language).

4.2.1 Application de la vision « Produit »

En appliquant les points définis par la vision « produit » nous obtenons un premier modèle abstrait de notre chaîne logistique globale (Figure 3):

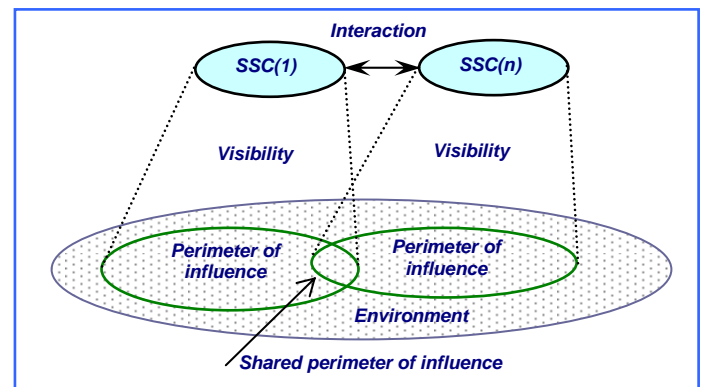


Figure 3. le modèle abstrait [Tounsi et al., 2008]

Comme décrit figure 3, la chaîne logistique globale est constituée de :

- *Un environnement* : défini par la circulation du produit au niveau de la chaîne, les ressources ainsi que tous les éléments extérieurs qui peuvent influencer l'activité de la chaîne.
- *SSC* : (une sous chaîne logistique) représente un groupement de PME qui collaborent afin de réaliser un objectif interne à leur SSC et/ou l'objectif global de la chaîne logistique. La SSC sera chargée de la transformation du produit à une certaine phase de son cycle de vie.
- *Périmètre d'influence* : représente la partie de l'environnement visible au groupement et sur lequel ce dernier peut agir par concertation interne (si l'action ne perturbe pas l'environnement hors de leur visibilité) ou en se concertant avec les autres groupements (SSC).
- *Zone d'influence partagée* : c'est une zone représentant une zone de transfert de flux entre deux SSC. C'est une zone où deux SSC coordonnent leurs activités afin de permettre le transfert de flux.

Ce modèle abstrait est un premier artefact de l'application de la vision « Produit ». Sur la base de modèle conceptuel abstrait, nous présentons le métamodèle du domaine dans la figure suivante (Figure 4).

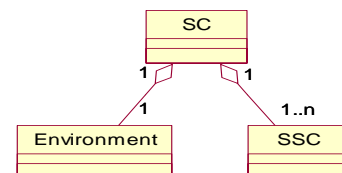


Figure 4. Le métamodèle abstrait du domaine

4.2.2 Application de la vision « Structure »

Cette deuxième étape consiste à raffiner le modèle abstrait fourni par l'étape précédente. En appliquant la vision Structure, le détail de la structure interne de la SSC est généré ainsi que de son périmètre d'influence (partie visible de l'environnement à la SSC). Ainsi, nous modélisons la SSC comme étant une composition de 3 couches représentant les différents niveaux décisionnels (Figure 5). Les deux premières couches (Monitoring system et Execution system) modélisent les couches de management et de pilotage de la SSC. La

couche « Physical System » modélise le périmètre d'influence de la SSC.

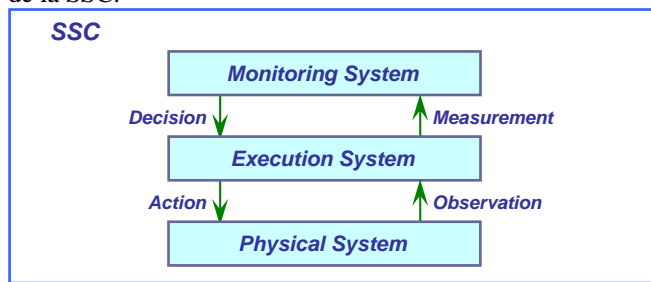


Figure 5. Les couches de la SSC [Tounsi et al., 2008]

Chaque couche de la SSC est composée de plusieurs concepts et joue un rôle spécifique dans la SSC :

- **Monitoring System** : c'est la couche intelligente de la SSC qui va assurer le pilotage et le contrôle des deux autres couches à travers les informations remontant de l'« Execution System ». Elle est composée essentiellement d'acteurs intelligents (actifs dans la prise de décision) qu'on modélisera dans notre système par le concept MA (Monitoring Actor). En effet, un MA, en collaboration avec les autres maillons de la même couche, établit des métriques afin d'évaluer la performance du groupement en interne mais participe également au pilotage et au contrôle de la chaîne logistique globale en coordonnant l'activité de la SSC avec les autres groupes.
- **Execution System** : c'est la couche réactive de la SSC qui assure le contrôle réactif et la synchronisation des flux de la couche physique (Physical System). La couche d'exécution observe le fonctionnement de la couche physique et agit en conséquence. Dans le cas d'une perturbation imprévisible et non survenue auparavant, la couche fait remonter l'information à la couche de pilotage (Monitoring System) qui prend en charge la résolution de la déviation. Execution System est essentiellement composé d'acteurs exécutifs (réactifs) modélisés par le concept EA. Dans certains cas, nous observons l'apparition des acteurs intelligents (MA) au niveau de cette couche mais avec un rôle réactif.
- **Physical System** : est la partie visible de l'environnement à la SSC correspondant ainsi à son périmètre d'influence. Cette couche regroupe tous les éléments qui sont passifs envers eux-mêmes et qui sont contrôlés par les autres couches de la SSC. Au niveau de cette couche, nous identifions deux concepts : l'entité circulante (ME) qui modélise le produit en circulation, et les ressources (R) nécessaires aux acteurs pour la réalisation de leurs tâches.

A cette étape nous avons défini les concepts nécessaires à la modélisation de la chaîne logistique d'un point de vue « Structure ». Ces concepts sont ensuite intégrés dans le raffinement du métamodèle du domaine.

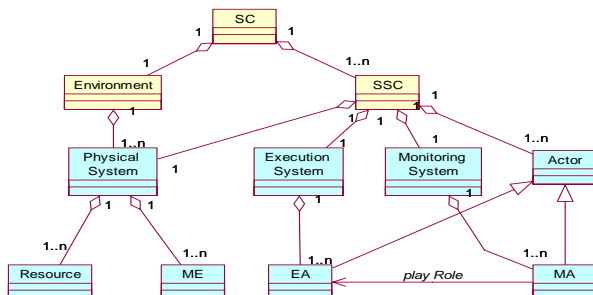


Figure 6. Métamodèle du domaine intermédiaire

4.2.3 Application de la vision « Processus »

Lors de l'étape précédente, nous avons obtenu un modèle intermédiaire de la chaîne logistique en identifiant la structure des différentes organisations impliquées et celle de l'environnement de production dans lequel elles interviennent. Dans ce qui suit, nous enrichissons le modèle en identifiant et en intégrant les différents types de processus au niveau des couches et ceci selon leur rôle et leur degré décisionnel. Le tableau 1, propose une classification de ces processus.

Tableau 1. classification des processus

Couches SSC	Classe Processus	Rôle
Monitoring System	Processus stratégique (SP)	- Coordonne les décisions à long terme
	Processus de contrôle et de pilotage (MCP)	- Pilote et contrôle des activités de la SSC - Evalue la performance de la SSC dans la chaîne logistique globale
Execution System	Processus de contrôle opérationnel (OCP)	- Synchronise et contrôle le « physical system »
Physical System	Processus physique (PhP)	- Définit les étapes de transformation du produit

Au niveau de la couche physique, nous identifions les processus (PhP) qui définissent les étapes de transformation du produit. Cette famille de processus sera intégrée en tant que concept dans notre métamodèle afin de permettre au système d'exécution la synchronisation des flux. Au niveau du système de pilotage et du système d'exécution, les familles de processus identifiées sont des processus de management. Ils décrivent le comportement dynamique de la SSC en interne mais aussi au niveau de la chaîne logistique globale. Cette dynamique basée sur l'échange d'information et sur le contrôle et le pilotage décisionnel, prend forme en utilisant des mécanismes de communication [Tounsi et al., 2008]. En effet, les différentes entités interagissant dans la SSC, utilisent un mécanisme de collaboration pour atteindre l'objectif interne du groupement. D'autre part, la SSC à travers la couche « Monitoring System », coordonnent son fonctionnement avec les autres nœuds de la chaîne logistique globale.

Dans l'optique de modéliser ces mécanismes de communication, les concepts EA et MA auront besoin de plus d'éléments afin de pouvoir supporter cette dynamique. De ce fait, les acteurs réactifs EA auront besoin de deux autres concepts pour consolider leur architecture interne :

- **Indicateur** : c'est une base de données qui stocke les différentes mesures d'indicateurs. L'EA détecte les déviations du système physique en comparant ses observations à ces mesures.
- **Action** : c'est une base de donnée stockant les actions à mettre en place dans le cas d'une déviation d'un indicateur.

Les acteurs de pilotage MA, en plus des concepts « indicateur » et « action », auront besoin des éléments suivants afin de pouvoir assurer leur rôle dans la SSC et la chaîne logistique globale :

- **Objectif** : ce concept modélise l'objectif stratégique de la SSC lui permettant de coordonner ses activités avec les autres SSC de la chaîne globale.
- **Connaissance** : c'est une base de donnée regroupant tout le savoir faire nécessaire aux MA pour prendre une décision pertinente. Ces connaissances peuvent être

organisationnelles ou des contraintes que l'acteur intelligent MA doit prendre en considération.

A la fin de cette phase de la méthodologie, nous obtenons un métamodèle conceptuel final (Figure 7).

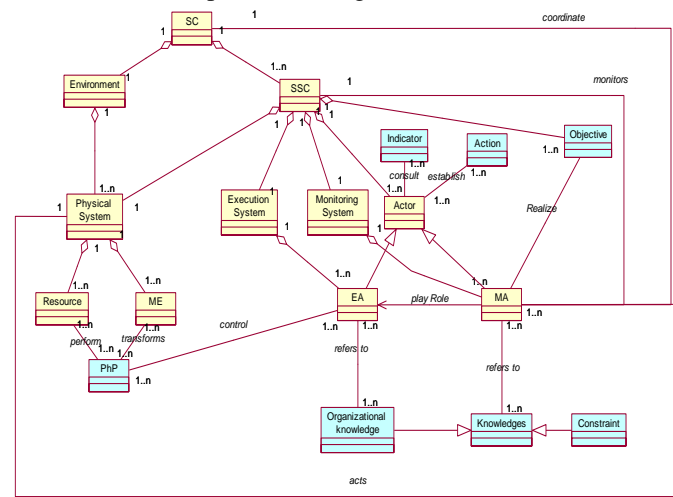


Figure 7. Métamodèle du domaine

5 AGENTIFICATION DU METAMODELE DU DOMAINE

Dans cette section, nous proposons une agentification du métamodèle du domaine en se basant sur l'approche ArchMDE [Azaiez, 2007]. En effet d'un coté, nous avons un métamodèle modélisant les concepts du système multiagent selon l'approche voyelle (Figure 8). D'un autre côté, nous avons un métamodèle du domaine représentant les concepts de la chaîne logistique dans un contexte de PME mécatroniques (Figure 7).

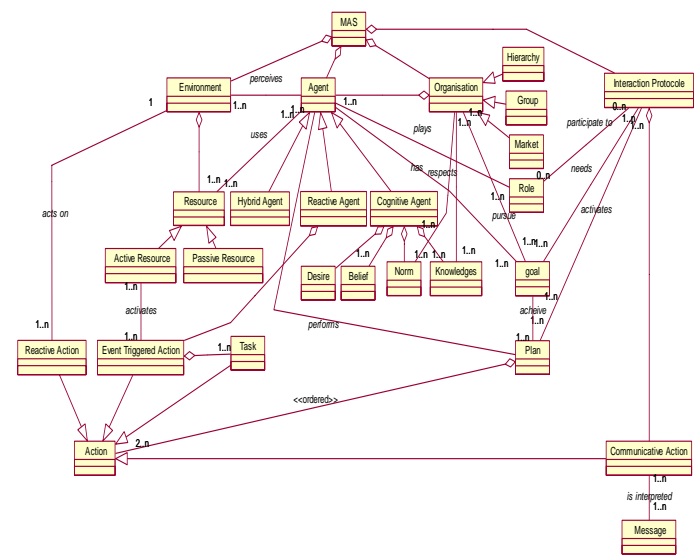


Figure 8. Métamodèle système multiagent [Azaiez, 2007]

L'agentification consiste en la construction d'une correspondance entre les propriétés des concepts constituant chacun des deux métamodèles. Le tableau suivant résume cette correspondance qui fait l'objet du métamodèle du domaine agentifié représenté en figure 9.

Tableau 2. Correspondance entre métamodèle du domaine et métamodèle multiagent

Concepts du Domaine	Concepts Multiagent
Supply Chain (SC)	MAS
Environment	Environment
Physical System	Resource
Resource	Passive Resource
Moving Entity (ME)	Active Resource
Physical Process (PhP)	Task
Sub Supply Chain (SSC)	Organization
Monitoring System	Group
Execution System	Group
Actor	Agent
Executive Actor (EA)	Reactive Agent
Monitoring Actor (MA)	Cognitive Agent
Objective	Goal
Indicator	Belief
Action	Plan
Knowledge	Knowledge
Organizational knowledge	Knowledge
Constraint	Knowledge

6 CONCLUSION

Les PME mécatroniques sont des organisations qui intègrent de plus en plus des chaînes logistiques très complexes et dont la portée globale ne lui est pas visible dans certains cas. Afin de pouvoir répondre rapidement aux exigences de leur chaîne logistique et de survivre aux perturbations de l'environnement externe, les PME collaborent à la réalisation d'un ou plusieurs processus dans un réseau qui les regroupe selon un objectif commun. Tous ces éléments nous ont amené à étudier la structure et la dynamique de ces groupements de PME mécatroniques avec une approche fondée sur la modélisation et la simulation.

Dans cet article, nous avons présenté une démarche afin d'obtenir un métamodèle agentifié de la chaîne logistique constituée essentiellement de PME mécatronique. Cette démarche décrit une technique de modélisation facilitant la représentation des systèmes complexes et la réutilisation de ces artefacts. Sur la base de ce métamodèle nous développerons par la suite des modèles représentant des cas d'application afin de les étudier et de les implémenter.

7 REFERENCES

Azaiez S., 2007. *Approche Dirigée par les modèles pour le développement de systèmes multi-agents*. Thèse de l'Université de Savoie, Spécialité Informatique. December 11, Annecy le vieux, France.

Azaiez S., Habchi G., Huget M.P., Pralus M. and Tounsi J., 2007. *Multiagent oriented modelling and simulation for manufacturing systems control*. INDIN 2007, 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics, July 23-27. Vienna, Austria.

Bagchi S., Buckley S., Ettl M., Lin G., 1998. *Experience using the IBM supply chain simulator*. Winter Simulation Conference.

Bratman M.E, Israel D.J., Pollack M., 1998. *Plans and resource-bounded practical reasoning*. Computational Intelligence, 4, pp 349-355.

Brooks R.A., *Intelligence without representation*, Artificial Intelligence, 47: 139-160. 1991.

Chopra S. and Meindl P., 2001. *Supply Chain Management: strategy planning and operation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-hall.

- Cooper M., Lambert D.M. and Pagh J.D., 1997. *Supply chain management: more than a new name for logistics*. International Journal of Logistics Management, vol 18, n°2, pp. 1-13.
- Demazeau Y., 1996. "Vowels", Invited lecture, *IWDAIMAS96*.
- Drucker P.F., 1998. *Management's new paradigms*. Forbes, October, pp. 152-177.
- Fischer K., Müller J.P., Pischel M., 1995. *Unifying control in a layered agent architecture*. IJCAI95, Agent Theory, Architecture and language workshop, pp 240-252
- Ingalls R.G, 1998. *The value of simulation in modeling supply chain*. In Proceedings of the 1998 winter simulation conference, Washington DC, pp. 1371-1375.
- Julien P.A., 1997. *Les PME bilan et perspectives*. 2^e edition, Economica, Paris, France.
- Kent S., 2002. *Model-driven Engineering*, IFM 2002, vol. 2335 of LNCS, Springer-Verlag, pp. 286-298.
- Labarthe O., Espinasse B., Ferrarini A., Montreuil B., 2007. *Toward a methodological framework for agent-based modeling and simulation of supply chains in a mass customization context*. Simulation Modeling Practice and Theory. 15, pp.113-136
- Lambert D.M. and Cooper M.C., 2000. *Issues in supply chain management*. Industrial Marketing Management, 29, n° 1, pp. 65-83.
- Lee Y.H, Cho M.K., Kim S.J. and Kim Y.B, 2002. *Supply chain simulation with discrete continuous combined modelling*. Computer and Industrial Engineering, 43, pp 375-392.
- Longo F. And Mirabelli G., 2007. *An advanced supply chain management tool based on modelling and simulation*. Computers & Industrial Engineering, vol 54, pp. 570-588.
- Parunak H., Savit R., Riolo R.L, 1998. *Agent-based modelling VS equation-based modelling: a case study and user's guide*. Proceedings of Multi-agent systems and agent-based simulation (MABS'98), Springer, LNAI 1534.
- Parunak H., 1998. *Wat can agents do in industry, and why? An overview of industrially-oriented R&D at CEC*. Second international workshop on cooperative information agents, CIA'98, M.Klusck.
- Stevens G.C., 1989. *Integrating the supply chain*. International Journal of Physical Distribution and Materials Management, 19, pp 3-8.
- Telle O., 2003. *Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique*. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace (ENSAE).
- Thierry C. 2003. *Gestion des chaînes logistiques : Modèle et mise en œuvre pour l'aide à la décision à moyen terme*. Accreditation to supervise research. University of Toulouse II.
- Tounsi J., Boissière J., Habchi G., 2008. *A conceptual model for SME Mechatronics supply chain*. 6th International Industrial Simulation Conference (ISC'08), Lyon, France, pp. 273-280.
- Villarreal Lizarraga, C.L., Dupont L., Gourg D., Pingaud H., 2005. *Contributing to management of shared projects in SMEs manufacturing clusters*. 18th International Conference on Production Research (ICPR-18), Salerno, Italy.
- Wooldridge M., 1999. *Intelligent Agents*. Multiagents Systems, Weiss G., Ed:MIT Press.
- Wooldridge M., 2002. *An introduction to Multiagent Systems*. Jonh Wiley & Sons, February.

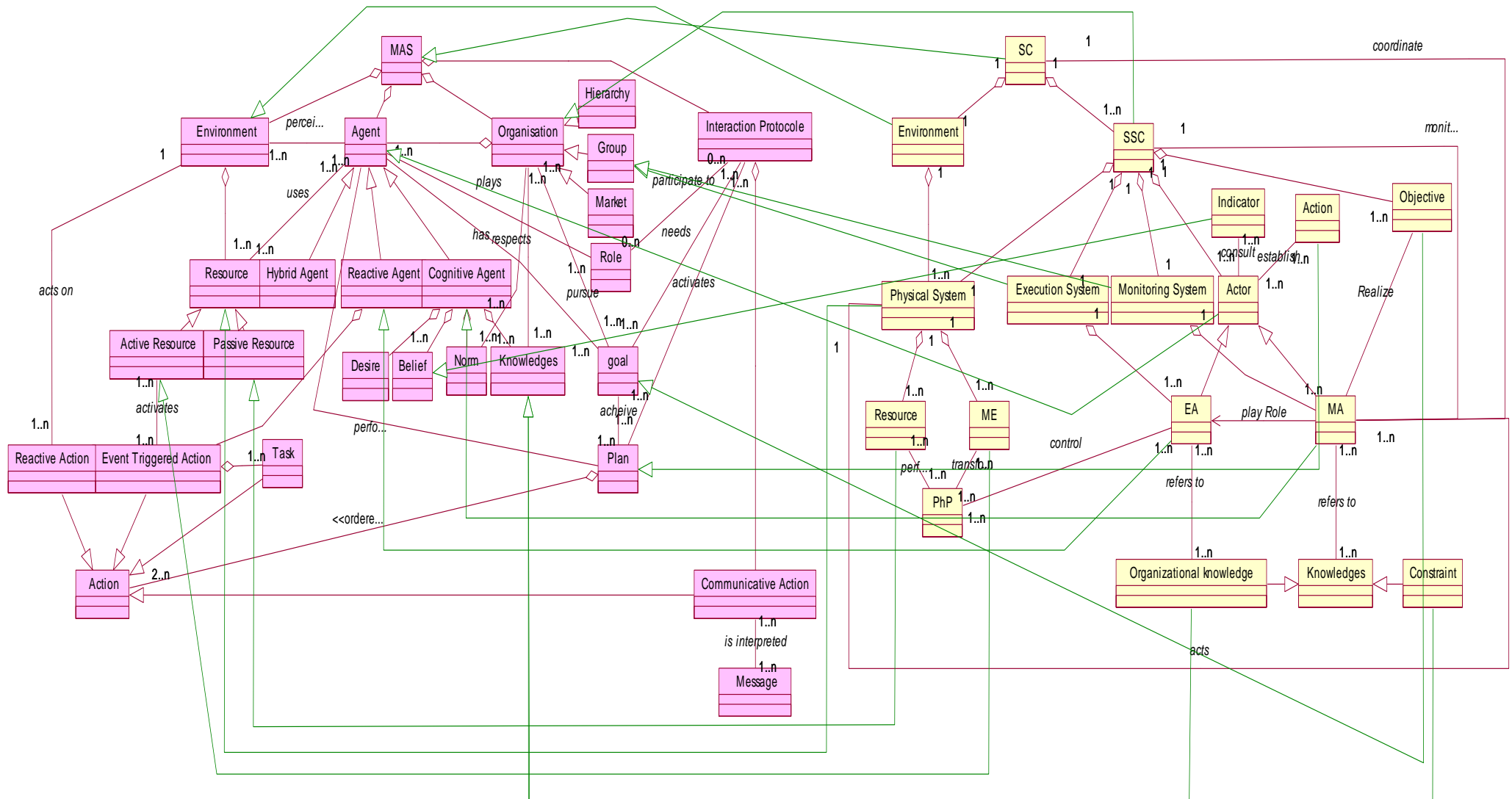


Figure 9. Métamodèle chaîne logistique agentifié